

INGENIERÍA COMPLETA DE REDES MÓVILES

Optimización de Redes Móviles • Dominando
las Redes 5G • Implementación de Redes Celulares

AMOSTRA



HUAWEI

ERICSSON

NOKIA

Para adquirir o livro completo acesse: livros.wagner.com.br

Wagner R Bomfim

INGENIERÍA COMPLETA DE REDES MÓVILES

*Esta obra consolida, en un único volumen técnico, el contenido más completo ya publicado en Brasil sobre ingeniería de redes móviles, reuniendo de forma integrada los tres libros **Optimización de Redes Móviles, Dominando las Redes 5G e Implementación de Redes Celulares**, en un enfoque práctico, profundo y totalmente alineado a la realidad de campo, operación e ingeniería.*

Prefacio

La optimización de redes móviles es el arte y la ciencia de extraer el máximo desempeño, capacidad y calidad de una red celular. En un mundo cada vez más conectado, donde la experiencia del usuario es primordial, el trabajo del optimizador de red es crucial. Este folleto fue concebido como una guía práctica y directa, que conduce al lector desde los conceptos fundamentales hasta las técnicas avanzadas de optimización, con una mirada específica a los tres principales proveedores de infraestructura: Ericsson, Nokia y Huawei. Sea usted un ingeniero junior, un técnico experimentado o un estudiante, encontrará aquí un valioso itinerario para sus actividades.

Para adquirir o libro completo accese: livrowagner.com.br

DOMINE EL ARTE Y CIENCIA DE LA OPTIMIZACIÓN DE REDES MÓVILES

En un mundo cada vez más conectado, donde la calidad de la red móvil se ha convertido en un factor decisivo para el éxito de las operadoras y la satisfacción de millones de usuarios, este libro se presenta como la referencia más completa y actualizada sobre optimización de redes móviles.

QUÉ ENCONTRARÁ EN ESTA OBRA:

- **Metodologías Comprobadas:** Procesos paso a paso para optimización sistemática y resultados medibles.
- **Multitecnología:** Enfoques detallados para GSM, WCDMA, LTE y 5G (NSA & SA).
- **Herramientas Especializadas:** Uso avanzado de TEMS, Nemo, XCAL, Probe y PHU.
- **Casos Reales:** Estudios detallados de problemas complejos y sus soluciones.
- **Optimización por Fabricante:** Configuraciones específicas para Ericsson, Nokia y Huawei.
- **Tendencias Futuras:** IA/ML, SON, Cloud y Realidad Aumentada aplicadas a la optimización.

Para adquirir o libro completo accese: livrowagner.com.br

PARA QUIÉN ES ESTE LIBRO:

- **Ingenieros de RF y Optimización** que buscan profundizar conocimientos técnicos.
- **Gerentes de Redes Móviles** que necesitan visión estratégica y métricas de negocio.
- **Estudiantes de Telecomunicaciones** en busca de fundamentos sólidos y aplicaciones prácticas.
- **Profesionales de Operadoras** que desean excelencia operacional y ventaja competitiva.
- **Consultores Técnicos** que necesitan referencia integral y actualizada.

DIFERENCIALES DE LA OBRA:

- **Enfoque Práctico:** Conceptos técnicos explicados a través de aplicaciones reales.
- **Completa Actualización:** Cobertura de las más recientes tecnologías 5G SA y Massive MIMO.
- **Multiherramientas:** Integración entre diferentes sistemas de recolección y análisis.

- **Visión Estratégica:** Alineamiento entre técnica pura y objetivos de negocio.
- **Lenguaje Accesible:** Explicaciones técnicas complejas presentadas de forma clara.

SOBRE EL ENFOQUE:

Este libro trasciende el manual técnico tradicional, presentando la optimización como un proceso continuo y estratégico que conecta la infraestructura de red con la experiencia del usuario final. A través de metodologías validadas en campo y casos reales de éxito, el lector es guiado desde los fundamentos hasta las técnicas más avanzadas, siempre con foco en la excelencia operacional y en la creación de valor.

"No se trata solo de hacer que la red funcione, sino de hacerla excelente - todos los días, para todos los usuarios, bajo todas las condiciones."

SUMARIO

Capítulo 1: Introducción a la Optimización de Redes

Móviles

1.1 ¿Qué es la Optimización y Por Qué es Importante?

1.2 El Ciclo de Vida de la Optimización: Drive Tests, KPIs,

Para adquirir o libro completo acesse: livrowagner.com.br

Ajustes y Monitoreo

1.3 Visión General de las Tecnologías: 4G (LTE) y 5G (NSA & SA)

Capítulo 2: El Proceso de Optimización Paso a Paso

2.1 Fase 1: Definición de Objetivos y Metas (KPIs-Clave)

2.2 Fase 2: Recolección de Datos (Drive Tests, Scanners, Mediciones OSS)

2.3 Fase 3: Análisis de Datos e Identificación de Problemas

2.4 Fase 4: Formulación e Implementación de Acciones Correctivas

2.5 Fase 5: Verificación y Consolidación de los Resultados

Capítulo 3: Conceptos Técnicos para Optimización

3.1 Parámetros de Radio Fundamentales: RSRP, RSRQ, SINR

3.2 Handover (Movilidad) y sus Parámetros

3.3 Gestión de Carga e Interferencia

3.4 Optimización de Antenas: Azimut, Tilt Mecánico y Eléctrico

Capítulo 4: Optimización en Equipos Ericsson

4.1 Introducción al OSS-RC y al ENM (Ericsson Network Manager)

4.2 Comandos Principales y Rutas de Parámetros en el RBS

Para adquirir o libro completo accese: livrowagner.com.br

(Radio Base Station)

4.3 Ajustes de Handover (Ej: A3 Offset, Hysteresis)

4.4 Optimización de Cobertura (Ej: RS Power, Pmax)

4.5 Análisis de KPIs a través del ENM

Capítulo 5: Optimización en Equipos Nokia

5.1 Introducción a NetAct y al CM Editor

5.2 Comandos Principales y Rutas de Parámetros en AirScale

5.3 Ajustes de Handover y Movilidad

5.4 Control de Cobertura e Interferencia (Ej: RSRP, CIO)

5.5 Monitoreo de Performance vía NetAct

Capítulo 6: Optimización en Equipos Huawei

6.1 Introducción al M2000 / U2020

6.2 Navegación y Comandos en el BTS y en la BaseStation

6.3 Ajustes de Handover (Ej: Evento A3, Cell Reselection)

6.4 Optimización de Potencia y Cobertura

6.5 Utilizando el Huawei Assistant para Análisis

Capítulo 7: Casos Prácticos de Optimización

7.1 Caso 1: Resolución de Call Drops en Área Urbana
(Huawei)

7.2 Caso 2: Mejora de Throughput en Estadio (Ericsson)

7.3 Caso 3: Optimización de Handover en Carretera (Nokia)

Para adquirir o libro completo accese: livrowagner.com.br

Capítulo 8: Herramientas y Tendencias Futuras

- 8.1 Herramientas de Análisis: TEMS, Nemo, Actix
- 8.2 Introducción a SON (Self-Organizing Networks)
- 8.3 Optimización para 5G Standalone (SA) y Massive MIMO
- 8.4 El Papel de la IA y del ML en la Optimización

Capítulo 9: Herramientas de Recolección y Análisis - Especificaciones y Diferenciación

- 9.1 Sistemas Probe - El Monitoreo Pasivo de la Red
- 9.2 TEMS Investigation - El Análisis en Tiempo Real
- 9.3 Nemo Outdoor - La Recolección a Gran Escala
- 9.4 XCAL - El Análisis Profundo de Protocolo
- 9.5 PHU (Per-Hour Utilization) - El Análisis de Patrones Temporales

Capítulo 10: Metodologías de Recolección por Tecnología

- 10.1 Configuraciones para GSM: Parámetros y Métricas Específicas
- 10.2 Configuraciones para WCDMA: Parámetros y Métricas Específicas
- 10.3 Configuraciones para LTE: Parámetros y Métricas Específicas
- 10.4 Configuraciones para 5G NR: Parámetros y Métricas

Específicas

10.5 Recolección Multitecnología: Desafíos y Soluciones

Capítulo 11: Análisis de Datos y Correlación

11.1 Metodología de Análisis de Causa Raíz

11.2 Correlación entre Diferentes Fuentes de Datos

11.3 Análisis Estadístico Aplicado a la Optimización

11.4 Identificación de Patrones y Tendencias

11.5 Validación de Resultados e Impacto

Capítulo 12: Reportes y Dashboards

12.1 Plantillas de Reportes Automatizados por Herramienta

12.2 Dashboards Interactivos para Monitoreo

12.3 KPIs y Métricas para Diferentes Públicos

12.4 Presentación de Resultados para Toma de Decisión

Capítulo 13: Metodologías de Análisis Avanzado

13.1 Análisis de Causa Raíz con Múltiples Herramientas

13.2 Análisis Comparativo: Benchmarks y Competencia

13.3 Análisis de Impacto de Cambios en la Red

13.4 Análisis Predictivo y Proactivo

Capítulo 14: Aplicaciones Prácticas por Tipo de Proyecto

Para adquirir o livro completo acesse: livrowagner.com.br

- 14.1 Proyectos de Expansión de Cobertura
- 14.2 Proyectos de Mejora de Calidad
- 14.3 Proyectos de Optimización de Capacidad
- 14.4 Proyectos de Troubleshooting Complejo
- 14.5 Proyectos de Benchmarking Competitivo

Capítulo 15: Buenas Prácticas y Estándares del Sector

- 15.1 Estándares de Calidad y Referencias del Mercado
- 15.2 Frecuencia y Periodicidad de Monitoreo
- 15.3 Documentación y Mantenimiento de Histórico
- 15.4 Metodologías de Validación y Verificación
- 15.5 Gestión de Cambios y Control de Impacto

Capítulo 16: Estudios de Caso Avanzados

- 16.1 Caso: Optimización de Red 5G NSA en Área Metropolitana
- 16.2 Caso: Migración de Tecnología 3G a 4G
- 16.3 Caso: Optimización para Aplicaciones Críticas (IoT, V2X)
- 16.4 Caso: Gestión de Capacidad en Eventos Masivos
- 16.5 Caso: Optimización Multi-vendor en Red Híbrida

Capítulo 17: Herramientas Emergentes y Futuro de la Optimización

- 17.1 Plataformas de Optimización Basadas en la Nube
- 17.2 Integración con Sistemas de Business Intelligence
- 17.3 Automatización Avanzada y Machine Learning Aplicado
- 17.4 Realidad Aumentada para Operaciones de Campo
- 17.5 Tendencias y Evolución de las Herramientas de Optimización

AMOSTRA

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN A LA OPTIMIZACIÓN DE REDES MÓVILES

1.1 ¿Qué es la Optimización y Por Qué es Importante?

La optimización de redes móviles es un proceso técnico continuo y sistemático que busca extraer el máximo desempeño posible de la infraestructura de red existente. Imagine que la red móvil es como un sistema vial complejo: la optimización sería el trabajo de ingenieros de tráfico que ajustan semáforos, crean carriles exclusivos, mejoran la señalización y optimizan los flujos de vehículos para garantizar que el tráfico fluya de la mejor manera posible, evitando congestionamientos y garantizando que todos lleguen a su destino rápidamente y con seguridad.

En términos técnicos concretos, la optimización implica:

- **Ajuste fino de parámetros de radio:** Modificar la potencia de transmisión de las antenas, ajustar ángulos de inclinación, optimizar handovers (transferencias entre celdas), y calibrar cientos de otros parámetros que controlan cómo las señales de radio se comportan en el entorno.

- **Análisis de desempeño continuo:** Monitorear constantemente cientos de indicadores técnicos que muestran la "salud" de la red, identificando problemas antes de que se vuelvan críticos.
- **Corrección de problemas específicos:** Resolver cuestiones como caídas de llamada en determinados lugares, lentitud en internet en horarios específicos, áreas sin cobertura adecuada, o interferencia entre celdas vecinas.
- **Mejora de eficiencia operacional:** Garantizar que los recursos de red (espectro radioeléctrico, capacidad de procesamiento, energía) sean utilizados de la forma más eficiente posible, permitiendo que más usuarios sean atendidos con la misma infraestructura.

La importancia de la optimización se manifiesta en varios niveles:

- **Experiencia del Usuario Final:** Cuando usted hace una llamada y se cae inexplicablemente, o cuando internet se vuelve extremadamente lenta en un determinado lugar, o cuando los videos se traban constantemente - todos estos son problemas que una buena optimización puede resolver. Usuarios

satisfechos tienden a permanecer con la operadora y recomendar sus servicios.

- **Eficiencia Operacional y Económica:** Operadoras que optimizan bien sus redes logran atender a más usuarios con la misma infraestructura, postergando inversiones en nuevas antenas y equipos. Una red bien optimizada consume menos energía, requiere menos mantenimiento y opera de forma más predecible.
- **Ventaja Competitiva:** En mercados de telecomunicaciones saturados, donde todas las operadoras ofrecen precios similares, la calidad de la red frecuentemente se convierte en el factor decisivo en la elección del consumidor. Una red bien optimizada puede ser la diferencia entre ganar o perder clientes.
- **Preparación para Servicios Futuros:** La optimización adecuada crea la base sólida necesaria para soportar servicios emergentes como Internet de las Cosas (IoT), carros conectados, realidad aumentada y telemedicina, que exigen un rendimiento extremadamente confiable.

1.2 El Ciclo de Vida de la Optimización: Drive Tests, KPIs, Ajustes y Monitoreo

El proceso de optimización sigue un ciclo continuo e iterativo, compuesto por fases interconectadas que se repiten constantemente. Este ciclo garantiza que la red sea continuamente perfeccionada y adaptada a los cambios en el entorno y en los patrones de uso.

Drive Tests (Pruebas de Conducción) son recolecciones de datos realizadas por vehículos especialmente equipados que recorren rutas predefinidas. Estos vehículos funcionan como laboratorios móviles, cargando:

- **Scanners profesionales:** Dispositivos especializados que miden todas las señales de radio presentes en el área, independientemente de si están conectados a la red de la operadora o de competidores. Ellos proporcionan una visión completa del ambiente radioeléctrico.
- **Teléfonos de prueba:** Aparatos que simulan el comportamiento de usuarios reales, haciendo llamadas, enviando mensajes, navegando en internet y usando aplicaciones, mientras recolectan datos detallados sobre la experiencia.
- **Sistemas de GPS de alta precisión:** Que correlacionan exactamente cada medición con su ubicación

geográfica, permitiendo crear mapas precisos de cobertura y calidad.

- **Computadoras con software especializado:** Que recolectan, procesan y analizan datos en tiempo real, permitiendo que los ingenieros identifiquen problemas durante la propia prueba.

KPIs (Key Performance Indicators - Indicadores Clave de Desempeño) son las "notas" o "termómetros" de la red. Ellos cuantifican objetivamente el desempeño en diferentes aspectos:

- **Tasa de caída de llamadas:** Porcentaje de llamadas que son interrumpidas involuntariamente antes de su conclusión normal. En redes bien optimizadas, este valor debe ser inferior al 1%.
- **Tasa de éxito de llamadas:** Porcentaje de intentos de llamada que se completan con éxito. Valores por encima del 99% son considerados excelentes.
- **Accesibilidad:** Capacidad de los usuarios de conectarse a la red cuando es necesario, medida a través de indicadores como RRC Success Rate y E-RAB Success Rate.

- **Throughput:** Velocidad de transferencia de datos, tanto en descarga (dirección de la red hacia el usuario) como en subida (dirección del usuario hacia la red).
- **Latencia:** Tiempo que le toma a un paquete de datos ir de un punto a otro en la red. Crucial para aplicaciones en tiempo real como juegos online y videoconferencias.

Ajustes son las intervenciones técnicas realizadas en la red para corregir problemas o mejorar el desempeño:

- **Ajustes de RF (Radio Frequency):** Involucran modificaciones físicas o de configuración en las antenas - cambio de ángulos (tilt), dirección (azimut), altura, o potencia de transmisión.
- **Ajustes de parámetros:** Modificación de configuraciones de software que controlan el comportamiento inteligente de la red - criterios para handover, algoritmos de control de potencia, políticas de admission control.
- **Optimización de cobertura:** Corrección de áreas con señal débil o inexistente a través de reorientación de antenas, ajuste de potencias, o instalación de equipos complementarios.

Monitoreo es la observación continua y sistemática del desempeño de la red:

- **Sistemas OSS (Operational Support Systems):**
Plataformas que recolectan datos de todos los elementos de la red 24 horas al día, 7 días a la semana.
- **Herramientas de análisis avanzado:** Que procesan los datos recolectados, identifican patrones, detectan anomalías y generan alertas cuando se detectan problemas o cuando el rendimiento cae por debajo de límites establecidos.
- **Reportes automáticos:** Que muestran tendencias a lo largo del tiempo, comparan desempeño entre diferentes áreas o períodos, y proporcionan información para la toma de decisión.

1.3 Visión General de las Tecnologías: 4G (LTE) y 5G (NSA & SA)

Las redes móviles evolucionaron a través de generaciones tecnológicas, cada una trayendo avances significativos en capacidad, velocidad y capacidades. Entender estas tecnologías es fundamental para una optimización efectiva.

4G (LTE - Long Term Evolution) representa la cuarta generación de redes móviles, trayendo avances revolucionarios:

- **Arquitectura totalmente basada en IP:** Diferente de las generaciones anteriores que tenían infraestructuras separadas para voz y datos, LTE usa solo redes IP (Internet Protocol) para todos los servicios. Esto simplifica la arquitectura y reduce costos.
- **Desempeño significativamente mejorado:** Ofrece latencias en el rango de 20-40 milisegundos (contra 100-200ms del 3G) y velocidades teóricas de hasta 300 Mbps en descarga. En la práctica, los usuarios experimentan típicamente 10-50 Mbps.
- **Tecnologías de acceso radioeléctrico avanzadas:** Utiliza OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) para downlink, que es más eficiente para lidiar con la propagación multitrayecto (reflexiones de señal), y SC-FDMA para uplink, que es más eficiente en términos de consumo de batería de los dispositivos.
- **MIMO (Multiple Input Multiple Output):** Usa múltiples antenas tanto en la estación base como en los

dispositivos para mejorar la capacidad y la confiabilidad a través de la diversidad espacial.

- **Voz sobre LTE (VoLTE):** Transmite llamadas de voz como paquetes de datos a través de la red 4G, ofreciendo calidad de voz superior y tiempos de establecimiento más rápidos.

5G (NSA & SA) representa la quinta generación, trayendo no solo mejoras incrementales, sino capacidades radicalmente nuevas:

- **NSA (Non-Standalone):** Es una arquitectura de transición que usa la red 4G existente como base para funciones de control y agrega capacidades 5G para aumentar la capacidad de datos. Imagine un carro con motor 4G que gana un turbo 5G - la base es antigua, pero el desempeño es mejorado.
- **SA (Standalone):** Es una arquitectura independiente y completa 5G, con red core dedicada y todas las funciones implementadas nativamente en 5G. Es como tener un carro totalmente nuevo, proyectado desde el inicio para ser 5G.
- **Ventajas fundamentales del 5G:**

- **Latencia ultra baja:** Menos de 10 milisegundos, possibilitando aplicaciones en tiempo real crítico como cirugía remota y control de vehículos autónomos.
- **Ancho de banda extremo:** Hasta 10 Gbps en condiciones ideales, soportando streaming de video 8K y realidad virtual.
- **Massive IoT:** Soporte a hasta 1 millón de dispositivos por kilómetro cuadrado, habilitando ciudades inteligentes con sensores en todas partes.
- **Confiabilidad extrema:** 99.999% de disponibilidad para aplicaciones críticas.
- **Tecnologías habilitadoras del 5G:**
 - **Massive MIMO:** Arreglos con decenas o cientos de elementos de antena que forman haces direccionales precisos.
 - **Beamforming:** Enfoque dinámico de la señal directamente para cada usuario, mejorando la eficiencia.

- **Network Slicing:** Creación de redes virtuales dedicadas para diferentes tipos de servicios con requisitos específicos.
- **Edge Computing:** Procesamiento de datos más cerca de los usuarios, reduciendo la latencia.

La optimización en 5G introduce nuevos desafíos y oportunidades, como la gestión dinámica de haces (beam management), la coordinación entre diferentes bandas de frecuencia (sub-6 GHz y mmWave), y la garantía de calidad de servicio en network slices dedicados a aplicaciones específicas.

CAPÍTULO 2: EL PROCESO DE OPTIMIZACIÓN PASO A PASO

2.1 Fase 1: Definición de Objetivos y Metas (KPIs-Clave)

La primera fase del proceso de optimización es crucial pues establece qué será medido, cómo será medido y cuáles son los resultados deseados. Sin objetivos claros y medibles, la optimización se convierte en un ejercicio aleatorio sin dirección definida.

KPIs-Clave (Key Performance Indicators) son métricas cuantificables que reflejan aspectos críticos del desempeño de la red. Ellos funcionan como instrumentos de medición en un

laboratorio - cada uno revela algo específico sobre la "salud" de la red:

- **Accesibilidad:** Mide la capacidad de los usuarios de obtener servicio cuando es necesario. Incluye:
 - **RRC Success Rate:** Tasa de éxito en el establecimiento de la conexión inicial entre el dispositivo y la red. Valores por encima del 99.5% son considerados excelentes.
 - **E-RAB Success Rate:** Tasa de éxito en el establecimiento de los bearers de datos que cargan el tráfico real. Meta típica es superior al 99.0%.
- **Retención:** Evalúa la capacidad de la red de mantener los servicios una vez establecidos. Comprende:
 - **Drop Call Rate (DCR):** Porcentaje de llamadas que son interrumpidas involuntariamente después del establecimiento exitoso. En redes optimizadas, debe ser inferior al 1.0%.
 - **E-RAB Drop Rate:** Tasa de caída de las conexiones de datos. Valores por debajo del 0.8% son considerados buenos.

- **Movilidad:** Mide la eficiencia con que la red gestiona el movimiento de los usuarios entre celdas. Incluye:
 - **Handover Success Rate (Intra-LTE):** Éxito en las transferencias entre celdas de la misma tecnología LTE. Debe exceder el 98%.
 - **Handover Success Rate (Inter-RAT):** Éxito en las transferencias entre tecnologías diferentes (ej: LTE a 3G). Meta típica es superior al 96%.
- **Throughput y Calidad de Servicio:**
 - **Downlink Average Throughput:** Velocidad promedio de descarga experimentada por los usuarios. Valores por encima de 25 Mbps son considerados buenos.
 - **Uplink Average Throughput:** Velocidad promedio de subida. Meta típica es superior a 8 Mbps.
 - **Cell Edge Performance (5th Percentile):** Rendimiento de los usuarios en la peor situación de cobertura (generalmente en el borde de la celda). Debe ser por lo menos 2 Mbps en descarga y 1 Mbps en subida.

Establecimiento de Metas SMART: Las metas de optimización deben ser Specific (específicas), Measurable (medibles), Achievable (alcanzables), Relevant (relevantes) y Time-bound (con plazo definido). Por ejemplo: "Reducir la tasa de caída de llamadas en el área central del 2.5% al 1.0% dentro de 4 semanas".

2.2 Fase 2: Recolección de Datos (Drive Tests, Scanners, Mediciones OSS)

La recolección de datos es la fase de "investigación de campo" donde hechos concretos sobre el desempeño de la red son recolectados a través de múltiples metodologías complementarias.

Drive Tests Detallados involucran vehículos equipados con instrumentación especializada que recorren rutas cuidadosamente planeadas:

- **Equipos de medición:** Incluyen scanners profesionales (como R&S TSME6), múltiples teléfonos de prueba de diferentes fabricantes, GPS de alta precisión, y computadoras con software especializado.
- **Métricas recolectadas:**

- **Parámetros de RF:** RSRP (Reference Signal Received Power), RSRQ (Reference Signal Received Quality), SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio), PCI (Physical Cell ID), Timing Advance.
- **Performance de servicios:** Throughput en descarga y subida, latencia round-trip, calidad de voz (MOS - Mean Opinion Score).
- **Comportamiento de la red:** Call Success Rate, Drop Call Rate, BLER (Block Error Rate), handover performance.
- **Planeamiento de rutas:** Las rutas deben ser representativas de los patrones de uso reales, cubriendo diferentes ambientes (urbano denso, suburbano, rural, carreteras) y diferentes condiciones de tráfico.

Scanners Profesionales son dispositivos especializados que ofrecen capacidades únicas:

- **Mediciones independientes:** Capturan todas las señales presentes en el ambiente, no solo de la operadora siendo probada, sino también de competidores.

- **Análisis de interferencia:** Identifican fuentes de interferencia que degradan la calidad de la señal.
- **Visión completa del espectro:** Muestran todas las celdas visibles, incluso aquellas a las que no están conectados.

Mediciones OSS (Operational Support

Systems) proporcionan la visión macro de la red:

- **Datos de todos los usuarios:** Recolectan información de desempeño de todos los usuarios conectados a la red, 24 horas al día.
- **Estadísticas agregadas:** Ofrecen datos estadísticamente significativos sobre el comportamiento de la red como un todo.
- **Identificación de patrones:** Revelan problemas que afectan a muchos usuarios simultáneamente o que ocurren en patrones temporales específicos.

Measurement Reports (MR) son reportes enviados por los propios dispositivos de los usuarios:

- **Muestreo estadístico:** Proporcionan una visión representativa de toda el área de cobertura.

- **Métricas de calidad:** Incluyen RSRP, RSRQ, PHR (Power Headroom Report) que muestran las condiciones reales experimentadas por los usuarios.
- **Análisis de interferencia:** Permiten identificar problemas de interferencia con base en las mediciones de los UEs.

2.3 Fase 3: Análisis de Datos e Identificación de Problemas

Esta fase transforma datos brutos en información accionable a través de análisis técnico profundo y correlación de múltiples fuentes de información.

Análisis de Cobertura se enfoca en la disponibilidad y calidad de la señal de radio:

- **Mapas de RSRP:** Identifican "huecos" de cobertura (áreas donde la señal es débil o inexistente). Valores por debajo de -110 dBm generalmente indican problemas serios de cobertura.
- **Análisis de SINR:** Revelan problemas de interferencia (cuando la señal es fuerte pero la calidad es mala). SINR por debajo de 0 dB indica interferencia severa.

- **Overlap Analysis:** Detectan áreas con exceso de celdas superpuestas, que pueden causar interferencia y handovers innecesarios.

Análisis de Capacidad examina cómo los recursos de red son utilizados:

- **PRB Utilization:** Muestra el porcentaje de Physical Resource Blocks siendo utilizados. Valores consistentemente por encima del 80-90% indican congestión.
- **Análisis de congestión:** Identifica celdas con exceso de usuarios conectados o tráfico excesivo.
- **Correlación Throughput vs Utilization:** Revela si bajas velocidades están relacionadas con alto uso de recursos o con otros factores.

Análisis de Movilidad investiga la eficiencia de las transferencias entre celdas:

- **Handover Performance per Relation:** Analiza el éxito de handover entre pares específicos de celdas.

- **Ping-pong Analysis:** Identifica handovers excesivos entre las mismas celdas, que desperdician recursos y pueden causar caídas.
- **Too Late/Too Early Handovers:** Detectan handovers que ocurren muy tarde (causando radio link failure) o muy temprano (causando interferencia).

Root Cause Analysis es la investigación profunda para encontrar la causa fundamental de los problemas:

- **Metodología de los 5 Porqués:** Pregunta "por qué" repetidamente hasta llegar a la causa raíz.
- **Diagramas de Ishikawa (Espina de Pescado):** Mapean sistemáticamente todas las posibles causas de un problema.
- **Análisis de correlación:** Identifica relaciones entre diferentes variables (ej: caída de throughput cuando el número de usuarios aumenta).

2.4 Fase 4: Formulación e Implementación de Acciones Correctivas

Con los problemas identificados y sus causas comprendidas, esta fase involucra la planeación y ejecución de soluciones específicas.

Ajustes de RF (Radio Frequency) son intervenciones en el dominio físico de la señal de radio:

- **Tilt Mecánico:** Alteración física de la inclinación vertical de la antena. Aumentar el tilt reduce el alcance pero mejora la cobertura cercana; disminuir el tilt aumenta el alcance pero puede causar interferencia.
- **Azimut:** Modificación de la dirección horizontal de la antena. Usado para redireccionar la cobertura hacia áreas específicas.
- **Altura de la Antena:** Ajuste de la altura en relación al suelo. Antenas más altas cubren áreas mayores pero pueden causar más interferencia.
- **Potencia de Transmisión:** Aumento o reducción de la potencia de la señal. Más potencia mejora cobertura pero aumenta interferencia; menos potencia reduce interferencia pero empeora cobertura.

Ajustes de Parámetros son modificaciones en las configuraciones de software que controlan el comportamiento inteligente de la red:

- **Parámetros de Handover:** Ajuste de $a3Offset$, hysteresis, $timeToTrigger$ para optimizar cuándo y cómo ocurren las transferencias entre celdas.
- **Power Control:** Configuración de algoritmos que controlan la potencia de transmisión de los UEs para maximizar la calidad y minimizar la interferencia.
- **Admission Control:** Definición de criterios para aceptar o rechazar nuevos usuarios en la celda cuando los recursos están limitados.

Optimización de Features involucra activación, desactivación o ajuste de funcionalidades avanzadas:

- **Carrier Aggregation:** Combinación de múltiples portadoras para aumentar la velocidad disponible.
- **MIMO:** Configuración de múltiples antenas para mejorar la capacidad y confiabilidad.

- **SON Features:** Utilización de funciones de Self-Organizing Networks para automatización de optimizaciones.

2.5 Fase 5: Verificación y Consolidación de los Resultados

La fase final garantiza que los cambios implementados realmente produjeron los resultados deseados sin introducir nuevos problemas.

Metodología de Validación involucra la confirmación sistemática de las mejoras:

- **Pruebas idénticas:** Repetición exacta de las mismas pruebas realizadas antes de las optimizaciones, usando las mismas rutas, mismos equipos y mismas condiciones.
- **Período de observación:** Monitoreo continuo por al menos 48-72 horas para garantizar que las mejoras son estables y no temporales.
- **Análisis estadístico comparativo:** Comparación estadística rigurosa de los resultados "antes" y "después" para confirmar que las mejoras son significativas.

Criterios de Éxito definen cuándo una optimización puede ser considerada exitosa:

- **Mejora en los KPIs-objetivo:** Los indicadores específicos que eran el foco de la optimización deben mostrar una mejora clara y significativa.
- **Ausencia de degradación:** Ningún otro KPI crítico puede haber empeorado como resultado de los cambios.
- **Estabilidad comprobada:** Las mejoras deben mantenerse consistentes a lo largo del tiempo, no siendo solo un efecto temporal.

Documentación y Lecciones Aprendidas capturan el conocimiento generado durante el proceso:

- **Reporte técnico detallado:** Documenta la metodología utilizada, datos recolectados, análisis realizados, cambios implementados y resultados obtenidos.
- **Lecciones aprendidas:** Identifica lo que funcionó bien, lo que no funcionó, y qué información puede ser aplicada en futuros proyectos.

- **Actualización de la base de conocimiento:** Incorpora los descubrimientos y mejores prácticas identificadas en el proceso de optimización.

Este ciclo completo garantiza que la optimización sea un proceso continuo de mejora, donde cada iteración construye sobre el conocimiento generado en las anteriores, llevando a una red progresivamente mejor y más eficiente.

CAPÍTULO 3: CONCEPTOS TÉCNICOS PARA OPTIMIZACIÓN

3.1 Parámetros de Radio Fundamentales: RSRP, RSRQ, SINR

Para entender y optimizar redes móviles, es esencial dominar tres parámetros fundamentales que describen la calidad de la señal de radio. Estos parámetros son como los signos vitales de una red - indican la salud básica de la conexión entre el dispositivo del usuario y la estación base.

RSRP (Reference Signal Received Power) es la medida de la potencia recibida de las señales de referencia transmitidas por la estación base. Piense en esto como medir el volumen de una conversación - cuanto más alto, mejor escucha. Técnicamente, el RSRP representa la potencia promedio recibida de un solo

Para adquirir o libro completo acesse: livrowagner.com.br

portador de señal de referencia, medido en dBm (decibelios en relación a 1 miliwatt).

- **Excelente:** Por encima de -85 dBm - señal fuerte, típico de lugares muy cerca de la antena o con línea de visión directa.
- **Bueno:** Entre -85 dBm y -95 dBm - señal adecuada para todos los servicios, incluyendo streaming de video de alta calidad.
- **Regular:** Entre -95 dBm y -105 dBm - señal suficiente para llamadas de voz y uso básico de internet, pero puede tener problemas con servicios que exigen más ancho de banda.
- **Malo:** Entre -105 dBm y -115 dBm - señal débil, solo para llamadas de voz y mensajes de texto, con alta probabilidad de caídas.
- **Muy Malo:** Por debajo de -115 dBm - al borde de la pérdida de cobertura, servicios inestables o indisponibles.

RSRQ (Reference Signal Received Quality) es la calidad de la señal de referencia, considerando tanto la potencia recibida como la interferencia. Si el RSRP es como medir el volumen,

Para adquirir o libro completo accese: livrowagner.com.br

el RSRQ es como medir la claridad - usted puede tener volumen alto, pero si hay mucho ruido, aún no entenderá el mensaje. El RSRQ se calcula como la razón entre el RSRP y la potencia total recibida (RSSI), medido en dB.

- **Excelente:** Mejor que -9 dB - calidad superior, ideal para servicios sensibles como videoconferencia.
- **Bueno:** Entre -9 dB y -12 dB - calidad buena, soporta streaming de video y aplicaciones interactivas.
- **Regular:** Entre -12 dB y -15 dB - calidad aceptable para navegación web y llamadas de voz.
- **Malo:** Entre -15 dB y -18 dB - calidad degradada, puede causar interrupciones en servicios de datos.
- **Muy Malo:** Peor que -18 dB - calidad muy pobre, servicios inestables.

SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio) es la relación entre la potencia de la señal deseada y la suma de interferencia más ruido. Este es quizás el parámetro más importante para el desempeño de datos, pues determina directamente qué esquema de modulación y codificación puede ser usado, lo que a su vez determina la velocidad máxima posible.

- **SINR > 20 dB:** Condiciones excelentes - permite el uso de modulación 256QAM y codificación de alta eficiencia, resultando en el throughput máximo posible.
- **SINR 13-20 dB:** Condiciones buenas - soporta modulación 64QAM con buena eficiencia, proporcionando alta velocidad.
- **SINR 0-13 dB:** Condiciones regulares - utiliza modulación 16QAM o QPSK, con velocidades moderadas a bajas.
- **SINR < 0 dB:** Condiciones malas - el ruido y la interferencia son mayores que la señal deseada, resultando en baja velocidad y alta tasa de error.

La relación entre estos parámetros es crucial: un buen RSRP con RSRQ/SINR malos indica interferencia, mientras que RSRP malo con buen SINR sugiere que la celda está bien aislada, pero muy distante.

3.2 Handover (Movilidad) y sus Parámetros

El handover (o transferencia) es el proceso de pasar una llamada o sesión de datos de una celda a otra mientras el usuario se mueve. Es como pasar el testimonio en una carrera de relevos - necesita hacerse en el momento correcto, en el

lugar correcto, y de forma suave para no dejar caer el testimonio.

Eventos de Medición en LTE son condiciones que disparan reportes de medición del UE hacia la red:

Evento A3 (Neighbor becomes offset better than serving) es el mecanismo principal para handover intra-frecuencia. La condición matemática es:

$$Mn + Ofn + Ocn - Hys > Ms + Ofs + Ocs + Off$$

Donde:

- Mn: RSRP de la celda vecina
- Ms: RSRP de la celda servidora
- Ofn: Offset de la frecuencia de la vecina
- Ocn: Cell individual offset de la vecina
- Ofs: Offset de la frecuencia de la servidora
- Ocs: Cell individual offset de la servidora
- Hys: Hysteresis del evento A3
- Off: Offset del evento A3

Parámetros de Temporización controlan cuándo y cómo ocurren los handovers:

- **timeToTrigger:** El tiempo que la condición de handover debe persistir antes de ser activada. Valores típicos varían de 0 ms (inmediatamente) hasta 5120 ms (más de 5 segundos). Un valor muy bajo causa handovers innecesarios por fluctuaciones temporales; un valor muy alto causa handovers tardíos y posibles caídas.
- **hysteresis:** Un margen de seguridad agregado para prevenir oscilaciones. Valores típicos de 0.5 dB a 3.0 dB. Más hysteresis hace el handover más estable, pero menos sensible.
- **a3Offset:** Define cuánto mejor necesita estar la celda vecina para activar el handover. Valores de -15 dB a +15 dB. Offset positivo hace que el handover ocurra más temprano; offset negativo más tarde.

Problemas Comunes de Handover:

- **Handover Too Early:** Ocurre cuando el usuario aún tiene buena conexión con la celda servidora, pero es

transferido prematuramente. Causa interferencia y posible caída si la nueva celda no es estable.

- **Handover Too Late:** Ocurre cuando el usuario ya perdió la conexión con la celda servidora antes de que el handover sea iniciado. Resulta en Radio Link Failure y caída de la llamada.
- **Ping-Pong Handover:** Transferencias rápidas y repetitivas entre las mismas dos celdas, desperdiciando recursos de red y degradando la experiencia del usuario.

3.3 Gestión de Carga e Interferencia

La gestión de carga e interferencia es como el control de tráfico aéreo - necesita coordinar múltiples "vuelos" (conexiones) compartiendo el mismo espacio (espectro) sin colisionar o interferirse unos con otros.

Indicadores de Carga monitorean la utilización de los recursos de la red:

- **PRB Utilization:** Mide el porcentaje de Physical Resource Blocks siendo utilizados. Los PRBs son los bloques fundamentales de tiempo y frecuencia asignados a los usuarios.

- Baja utilización (< 30%): Recursos ociosos, posiblemente mala configuración o baja demanda.
 - Utilización moderada (30-70%): Operación ideal, con margen para picos de tráfico.
 - Alta utilización (70-90%): Red cerca de la capacidad, requiere monitoreo cuidadoso.
 - Congestionamiento (> 90%): Los usuarios experimentan baja velocidad y alta latencia.
- **RRC Connected Users:** Número de usuarios simultáneamente conectados a la celda. Cada tecnología tiene límites máximos basados en su capacidad de procesamiento.
 - **DL/UL Throughput:** Tasa de transmisión agregada en descarga y subida. Muestra cuántos datos están siendo transportados por la celda.

Técnicas de Balanceo de Carga:

MLB (Mobility Load Balancing): Ajusta automáticamente los parámetros de handover para mover usuarios de celdas congestionadas a celdas